



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LEONARDO DE SOUZA BEZERRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL**

JOÃO PESSOA

2018

LEONARDO DE SOUZA BEZERRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da  
Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do  
título de Bacharel (a) em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Benilton Luis Nascimento de  
Oliveira

JOÃO PESSOA

2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

B574a Bezerra, Leonardo de Souza.

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM  
SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL / Leonardo de Souza  
Bezerra. - João Pessoa, 2018.

65 f. : il.

Orientação: Benilton Luis Nascimento de Oliveira.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Sistema fotovoltaico conectado à rede. 2.  
Microgeração. 3. Energia Renovável. I. Oliveira,  
Benilton Luis Nascimento de. II. Título.

UFPB/BC

LEONARDO DE SOUZA BEZERRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel (a) em Engenharia Mecânica.

RESULTADO: \_\_\_\_\_ NOTA: \_\_\_\_\_

João Pessoa, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Benilton Luis Nascimento de Oliveira  
Orientador - UFPB

---

Prof. Dr. Bruno Leonardo Campelo de Queiroga  
Examinador interno - UFPB

---

Prof. Dr. José Carlos de Lima Júnior  
Examinador interno - UFPB

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais e a minha esposa, pelas palavras de encorajamento durante essa jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a DEUS pela força dada a mim para que pudesse finalizar este trabalho dando um passo para um ciclo que se encerra, mas com a certeza de que novos desafios irão iniciar.

Agradeço ao meu professor orientador pelo empenho e toda a dedicação para que esse trabalho pudesse ser concretizado.

Em seguida meu agradecimento aos meus pais pelo incentivo e pelos conselhos para que continuasse perseverando em busca do meu sonho, mais ainda, por me ensinarem o valor da educação e do conhecimento.

Agradeço também a minha esposa pela paciência e ajuda durante esse processo árduo de escrita me fazendo acreditar que posso ir sempre além, sempre com palavras solidárias nos momentos difíceis desde o início do curso até então.

A todos os meus colegas da Engenharia, meu obrigado pela ajuda, pelas noites não dormidas com o intuito de nos ajudarmos, sempre em busca do conhecimento.

A todos os professores que contribuíram para a aquisição dos conhecimentos adquiridos ao longo desses 5 anos, pelas partilhas e experiências trocadas neste período, meu muito obrigado.

A todos os amigos e familiares que de forma direta ou indireta contribuíram para meu crescimento, o meu sincero obrigado!

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.*

(Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

Buscando uma solução alternativa para produção de energia elétrica, tem-se nesse trabalho a análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede. A partir de dimensionamento dos painéis fotovoltaicos e inversor, considerando os efeitos oriundos da temperatura no rendimento dos painéis e obtendo orçamentos com empresas da região para ter-se o valor médio para a aquisição dos demais componentes do sistema, assim como sua instalação e homologação, verificando os custos relacionados a essa implantação e o retorno desse investimento realizando o cálculo de *payback* do projeto. Após essa etapa realizou-se um orçamento junto a uma empresa especializada em sistemas fotovoltaicos para verificar se o sistema selecionado estava coerente com o que seria indicado pela empresa, tendo sido o resultado bem aproximado. Por fim realizando uma análise financeira a partir de análise comparativa com outro tipo de investimento, sendo esse último em caderneta de poupança. A partir dos resultados verificou-se a viabilidade da implantação do sistema fotovoltaico, tendo sido esse mais rentável que o investimento em caderneta de poupança para as considerações adotadas.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico conectado à rede. Microgeração. Energia Renovável



## **ABSTRACT**

Searching an alternative solution for electric energy production, this work has the technical and economic feasibility analysis for the implementation of a residential photovoltaic system connected to the grid. From the dimensioning of the photovoltaic panels and inverter, considering the effects of temperature on the efficiency of panels and obtaining budgets with companies of the region to obtain the average value to obtain the other components of the system, as well as their installation and homologation, verifying the costs related to this deployment and the return of this investment by calculating the project payback. After this stage a budget was made with a company specialized in photovoltaic systems to verify if the selected system was consistent with what would be indicated by the company, and the result was very approximate. Finally, a financial analysis is carried out based on comparative analysis with another type of investment, the latter being a savings account. From the results, it was verified the feasibility of the implantation of the photovoltaic system, which was more profitable than the investment in savings account for the considerations adopted.

**Keywords:** Grid-connected photovoltaic system. Microgeneration. Renewable Energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Piranômetro.....	19
Figura 2- Estrutura P-N em uma célula fotovoltaica.....	21
Figura 3- Representação de sistema com medidor bidirecional .....	24
Figura 4- Componentes de um SFCR.....	24
Figura 5- Lingote e célula de silício monocristalino .....	26
Figura 6- Células de silício amorfo .....	28
Figura 7- Exemplo de estrutura de fixação.....	32
Figura 8- Efeito causado pela variação da irradiação solar sobre a curva característica I-V...33	
Figura 9- Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V.....	34
Figura 10- Etapas de solicitação de acesso.....	37
Figura 11- Área destinada a instalação dos painéis .....	39
Figura 12- Painel selecionado para o projeto .....	42
Figura 13- Especificações do painel selecionado .....	42
Figura 14-Inversor selecionado .....	45
Figura 15-Especificações do inversor selecionado.....	46
Figura 16-Resultado da simulação .....	49
Figura 17-Estimativa para o retorno do investimento a partir da simulação.....	49

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Potência por área para painéis de diferentes tecnologias .....	25
Tabela 2- Pesquisa de painéis fotovoltaicos .....	41
Tabela 3- Opções de inversores no mercado .....	45
Tabela 4- Custo do projeto .....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BACEN – Banco Central do Brasil

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas

EUA – Estados Unidos da América

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – Maximum Power Point Tracker

NBR – Norma Brasileira

PMP – Ponto de Máxima Potência

ProGD – Programa de Geração Distribuída de Energia Elétrica

SF – Sistema Fotovoltaico

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado

TR – Taxa Referencial

UC – Unidade Consumidora

## LISTA DE SÍMBOLOS

Tw<sub>h</sub> – Terawatt hora

% - Por cento

kWh/m<sup>2</sup>/dia – Quilowatt hora por metro quadrado por dia

R\$ - Real

Km - Quilômetro

K - Grau Kelvin

MW<sub>p</sub> - Megawatt pico

kW<sub>p</sub> - Quilowatt pico

W<sub>p</sub> - Watt pico

Nº - Número

kWh - Quilowatt hora

°C – Grau celsius

W/m<sup>2</sup> – Watt por metro quadrado

G – Irradiação

A - Ampere

V – Volts

°C/W.m<sup>2</sup> – Graus celsius por watt por metro quadrado

Wh – Watt hora

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

A<sub>M</sub> - Área da superfície do módulo

E<sub>MÓDULO</sub> - Energia produzida pelo módulo diariamente

E<sub>s</sub> - Insolação diária

η<sub>M</sub> - Eficiência do módulo

N<sub>p</sub> - Número de módulos da instalação fotovoltaica

E<sub>SISTEMA</sub> - Energia produzida pelo sistema

T<sub>MOD</sub> - Temperatura do módulo

T<sub>AMB</sub> - Temperatura ambiente

°C/W.m<sup>2</sup> – Graus celsius por watt por metro quadrado

K<sub>t</sub> - Coeficiente térmico para o módulo

° - Grau

V<sub>OC,STRING</sub> - Tensão de circuito aberto do *string*

V<sub>OC</sub> - Tensão de circuito aberto do módulo

P<sub>MÁX,STRING</sub> - Potência máxima ou de pico do *string*

$P_{MÁX}$  - Potência máxima ou de pico do módulo

MW – Mega watt

$\text{kW/m}^2$  – Quilowatt por metro quadrado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	ENERGIA SOLAR.....	18
2.2	RADIAÇÃO SOLAR .....	18
2.3	GERAÇÃO FOTOVOLTAICA .....	19
2.3.1	TIPOS DE SISTEMAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	21
2.3.2	COMPONENTES DE UM SFCR.....	24
2.3.3	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXTERNOS SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS ...	32
2.3.4	DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	35
2.3.5	INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS .....	36
2.4	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA PARA A REDE .....	36
2.4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	36
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....</b>	<b>38</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL.....	38
3.2	NECESSIDADE ENERGÉTICA .....	38
3.3	DESCRIÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO .....	39
3.4	ÍNDICE SOLARIMÉTRICO DO LOCAL .....	40
3.5	TEMPERATURA MÉDIA LOCAL .....	40
3.6	SELEÇÃO DOS PAINÉIS .....	41
3.7	SELEÇÃO DO INVERSOR.....	44
3.8	INSTALAÇÃO DO SISTEMA .....	47
3.9	CUSTO DO INVESTIMENTO .....	47
3.10	RETORNO DO INVESTIMENTO .....	47

3.11	SIMULAÇÃO DE ORÇAMENTO .....	48
3.12	INVESTIMENTO EM CADERNETA DE POUPANÇA.....	50
<b>4</b>	<b>ANÁLISE FINANCEIRA DOS RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Seguindo a tendência mundial no que diz respeito ao surgimento de novas tecnologias que usam cada vez mais a energia elétrica, faz-se necessário a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para o suprimento desse insumo. Visando uma opção a solucionar esse aumento da demanda é que se tem buscado novas fontes de energia alternativas e renováveis.

A geração de energia elétrica é algo essencial para a modernidade e para o desenvolvimento socioeconômico da humanidade, por isso, é necessário produzi-la em larga escala para suprir as demandas de um país, como por exemplo o Brasil, que nos últimos 18 anos teve um aumento populacional de cerca de 20% de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Em 2016 o consumo de energia elétrica no território brasileiro foi de cerca de 517 TWh e de acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) esse tende a aumentar em torno de 144 % até 2026, chegando a 744 TWh (EPE, 2017).

Apesar de sua importância, a produção de energia é a maior fonte de poluentes nos dias atuais, pois a matriz energética mundial é extremamente dependente dos combustíveis fósseis, onde 87% da energia consumida no mundo é decorrente da queima desses combustíveis, tais como o petróleo, gás natural e o carvão (PINTO JR. *et al.*, 2016). O Brasil apresenta uma matriz energética baseada principalmente em recursos não-renováveis com aproximadamente 56,5% do total (MME, 2017). No que diz respeito à produção de energia elétrica, ela é baseada em hidrelétricas, contando com aproximadamente 68,1% da produção total (EPE, 2017).

Produzir energia elétrica a partir de fontes alternativas é uma solução para atender à crescente demanda de energia elétrica no país, principalmente nos horários de pico, além da redução em relação aos prejuízos ambientais ocasionados pela geração de energia, proveniente de termelétricas. Entre essas fontes alternativas, destaca-se a energia solar fotovoltaica, tendo em vista que o Brasil apresenta grande potencial energético solar, ainda pouco explorado, apresentando uma alta radiação média anual por regiões que varia de 3,26 kWh/m<sup>2</sup>/dia, na região Norte, à 5,52 kWh/m<sup>2</sup>/dia, na região Nordeste (PEREIRA *et al.*, 2017).

Tem-se na conversão fotovoltaica da energia solar, especificamente no Sistema Fotovoltaico Conectados à Rede (SFCR), uma opção a ser analisada, pois não utilizam baterias, e ainda se houver excedente na energia produzida para o local de consumo, essa será injetada na rede elétrica de distribuição. Além de que, em tempo de estiagem a utilização dessa fonte de energia pode ajudar na regulação da oferta de energia elétrica. Deve-se considerar que, em relação às fontes convencionais, apresentam-se certas vantagens nos aspectos técnicos e

ambientais, devido ao fato da conversão energética se dar de forma silenciosa e sem a emissão de poluentes.

Além dos benefícios já citados anteriormente relativos à geração fotovoltaica, deve-se salientar também os incentivos que já existem por parte do governo, que visam fomentar essa forma de geração distribuída, através do lançamento em Dezembro de 2015 do Programa de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), lançado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que objetiva promover o estímulo a geração de energia com base em fontes renováveis, em especial a partir da fotovoltaica, pelos próprios consumidores, com investimentos em torno de R\$ 100 bilhões até 2030 (MME, 2018).

Através de um estudo de viabilidade técnica e econômica, será abordado neste trabalho uma análise acerca do procedimento necessário para implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma residência.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo desse trabalho de conclusão de curso é avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação de painéis fotovoltaicos em uma residência localizada no bairro de Mangabeira II – João Pessoa/PB, através do dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pública, buscando a geração energética complementar do referido imóvel com a utilização da energia fotovoltaica, levando em consideração as variações de irradiação no local e desprezando as perturbações externas, bem como os resultados de uma análise econômica e comparativa com outra opção de investimento.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esse trabalho tem por objetivos específicos:

- a) Apresentar as etapas que compõem o dimensionamento de um SFCR e sua respectiva instalação;
- b) Demonstrar aspectos técnicos e materiais relativos ao sistema;
- c) Estimar o consumo da edificação onde será instalado o sistema;
- d) Realizar a análise econômica dos aspectos que viabilizam a aquisição do sistema;
- e) Comparar a viabilidade da implementação do sistema com o investimento em caderneta de poupança.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O Sol é uma fonte de energia inesgotável na escala terrestre de tempo, responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia, ou seja, essas são em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia oriunda do Sol. É a partir da radiação solar que se tem por exemplo a indução à circulação atmosférica em larga escala, o que promove os ventos. Logo, a energia eólica, por exemplo, é uma forma indireta de manifestação da energia solar (PINHO; GALDINO, 2014).

Quando em sua forma direta, a energia solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes ou fluidos e geração de potência mecânica ou elétrica. Além disso, pode ser convertida diretamente em energia elétrica, mediante utilização de determinados materiais, os quais merecem destaque, termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2018).

A energia solar se propaga até a Terra mediante radiação eletromagnética que, sofre diversas reflexões, dispersões e absorções, a partir do limite superior da atmosfera até sua chegada ao solo. E devido sua natureza variável, é conveniente basear estimativas e previsões do recurso solar em informações solarimétricas levantadas durante longos períodos (REIS; SANTOS, 2014).

O aproveitamento da energia solar é considerado promissor e sustentável devido ao fato dos sistemas serem capazes de converter a radiação solar em energia elétrica ou térmica sem emitir poluentes durante esse processo. Entretanto, se tratando de sistemas fotovoltaicos, pouco impacto ambiental é produzido em sua fabricação e montagem. Ao passo que, as vantagens decorrentes de sua implantação se sobressaem durante a fase de operação (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

### 2.2 RADIAÇÃO SOLAR

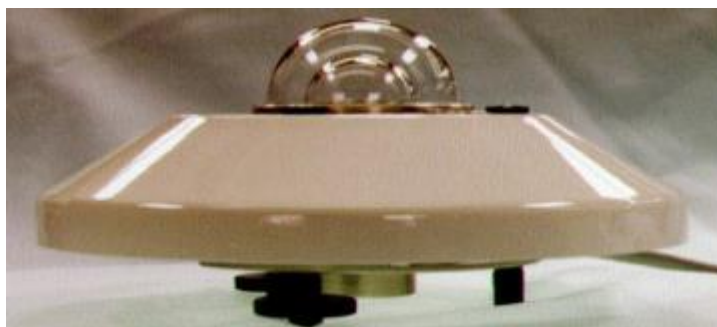
A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar que é uma camada tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial em torno de 5800 K. Entretanto, esta radiação não se apresenta como um modelo

regular, pois existe a influência das camadas externas do Sol, com pontos quentes e frios, erupções cromosféricas, etc. A energia solar incidente no meio material pode ser refletida, transmitida e absorvida. Sendo a parcela absorvida responsável, conforme o meio material, por originar os processos de fotoconversão e termoconversão (CRESESB, 2006).

De toda radiação solar que atinge às camadas superiores da atmosfera apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Essa fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta e por uma difusa (CRESESB, 2006).

A radiação global é a soma da radiação direta e da difusa, podendo ser medida por instrumento denominado piranômetro, mostrado na Fig. 1. A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do Sol. Já a radiação difusa é resultado da difração na atmosfera e reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos (VILLALVA, 2015).

Figura 1- Piranômetro



Fonte: Souza (2018)

## 2.3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A ideia de energia fotovoltaica se deu, a partir da descoberta do físico francês Edmund Becquerel, em 1839, quando descobriu o efeito fotoelétrico. Entretanto, o responsável pela elaboração dos princípios de tal efeito foi o físico alemão Heinrich Hertz anos depois. O efeito é baseado em quatro princípios básicos, sendo eles a incidência da radiação solar, a intensidade da corrente produzida decorrente da radiação recebida, a velocidade de emissão e a frequência mínima da radiação luminosa para produção da corrente ou das emissões, sendo esta última característica do material (FONTES, 2012). No início do século XX, Albert Einstein

desenvolveu uma teoria que criou a base teórica do efeito fotoelétrico. De acordo com essa teoria, os elétrons liberados quando da incidência de luz, são atraídos para um polo positivamente carregado, criando uma corrente fotovoltaica (SILVA, 2017).

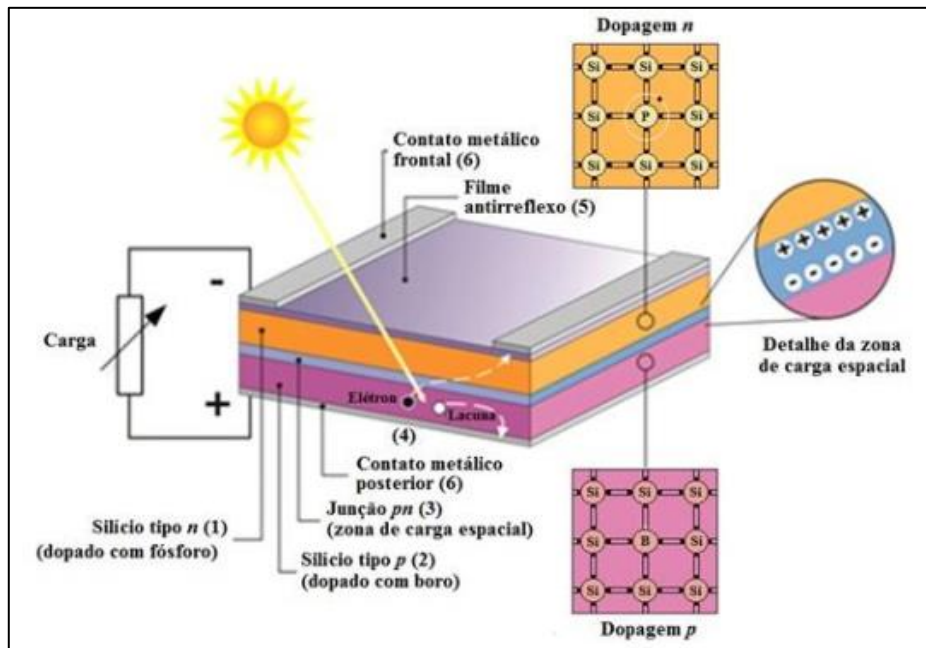
A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental ao processo de conversão (PINHO; GALDINO, 2014).

Um material semicondutor é aquele que não pode ser classificado como condutor elétrico nem como isolante. Podendo ter suas propriedades modificadas pela adição de materiais dopantes ou impurezas (VILLALVA, 2015).

Uma célula fotovoltaica, como pode ser visto na Fig. 2, é composta tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra N. Existem células de múltiplas junções, entretanto seu funcionamento é idêntico ao das células de apenas duas camadas. Onde o material N possui um excedente de elétrons e o material P apresenta falta de elétrons. Devido à diferença de concentração, os elétrons da camada N fluem para a camada P criando um campo elétrico dentro de uma zona de depleção, também chamada de barreira de potencial (VILLALVA, 2015).

Quando duas camadas de material P e N são colocadas em contato, formando o que se denomina junção semicondutora, os elétrons da camada N migram para a camada P e ocupam os espaços vazios das lacunas. A camada superior do material N de uma célula fotovoltaica é muito fina a ponto que a luz pode penetrar e descarregar a sua energia sobre os elétrons, fazendo com que eles absorvam energia suficiente para vencer a barreira de potencial e movimentar-se da camada N para camada P. Havendo um circuito fechado os elétrons circularão em direção aos eletrodos da camada N, formando uma corrente elétrica (VILLALVA, 2015).

Figura 2- Estrutura P-N em uma célula fotovoltaica



Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

### 2.3.1 TIPOS DE SISTEMAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados quanto à interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica: sistemas isolados e sistemas conectados à rede elétrica. Já em relação a sua configuração classificam-se em: sistemas puros e híbridos (NBR 11704). Todavia, os sistemas fotovoltaicos são usualmente classificados em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede (CRESESB, 2006).

#### 2.3.1.1 *Sistemas isolados*

Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFIs) são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica. Podem ser usados para fornecer eletricidade para lugares isolados tais como zonas rurais, na praia, ilhas e em qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível. Também é uma boa opção para aplicações na iluminação pública, na sinalização de estradas e para uma infinidade de aplicações (VILLALVA, 2015).

Em geral, utiliza-se alguma forma de armazenamento de energia. Podendo ser feito este armazenamento através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazenar-se na

forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento, no caso de irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios (CRESESB, 2006).

#### *2.3.1.2 Sistemas híbridos*

Os sistemas híbridos são aqueles em que existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, grupo gerador a diesel, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. Estes sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de realizar a integração dos vários geradores, objetivando otimizar a operação (PINHO; GALDINO, 2014).

Em geral, esses sistemas são empregados em sistemas de médio e grande porte vindo a atender um maior número de usuários. Pelo fato de trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido apresenta um inversor (CRESESB, 2006).

#### *2.3.1.3 Sistemas conectados à rede*

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos e não necessitam de armazenamento de energia, pois toda a geração de energia é entregue diretamente na rede. Esse sistema atua de forma complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado (LOPEZ, 2012).

Esse tipo de instalação vem se tornando cada vez mais popular em diversos países europeus, Japão, EUA, e recentemente no Brasil. As potências instaladas variam de poucos kWp em instalações residenciais, até alguns MWp em se tratando de grandes sistemas operados por empresas (PINHO; GALDINO, 2014).

Os SFCR constituem a aplicação de energia solar fotovoltaica que tem apresentado a maior taxa de crescimento anual no mundo. Os módulos fotovoltaicos convertem a energia solar em energia elétrica na forma de corrente contínua. O arranjo fotovoltaico é conectado à inversores responsáveis pela conversão de energia elétrica em corrente contínua (CC) em energia elétrica em corrente alternada (CA). Após essa conversão os inversores entregam a energia convertida à rede elétrica de distribuição (RAMPINELLI, 2010).

Durante o dia, o excesso de eletricidade não é armazenado, mas vendido para a distribuidora de energia e disponibilizado na rede elétrica. Quando os painéis fotovoltaicos não

conseguem suprir a necessidade do consumo, a eletricidade é adquirida da rede elétrica (LOPEZ, 2012).

Os SFCR foram incluídos na regulamentação disposta pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) somente a partir de 2012, onde ficaram estabelecidas as regras e a regulamentação para a assim chamada microgeração distribuída (potência instalada até 75 kW) e minigeração distribuída (potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW). Por meio da resolução 482 de abril de 2012, o Brasil adotou o mecanismo de compensação de energia, em que um telhado solar pode ser conectado à rede elétrica através da Unidade Consumidora (UC) e injetar o excedente na rede elétrica acumulando créditos a serem compensados em kWh (PEREIRA *et al.*, 2017).

De acordo com a resolução nº 482 da ANEEL, alterada pela Resolução nº 687, podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora:

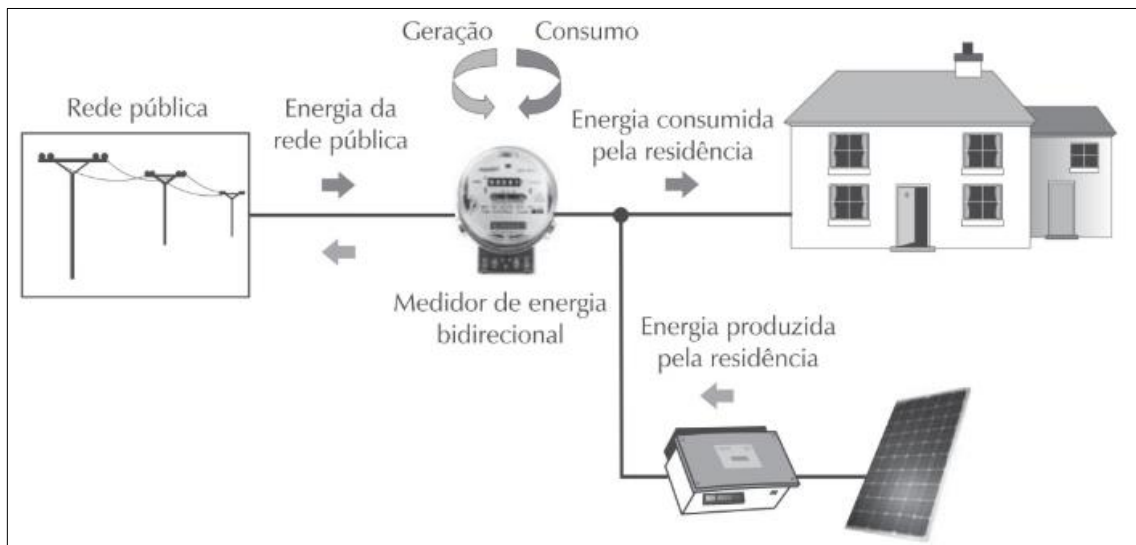
- Com microgeração ou minigeração distribuída;
- Integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- Caracterizada como geração compartilhada;
- Caracterizada como autoconsumo remoto.

Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (ANEEL, 2015, p. 3).

Algumas companhias de distribuição de energia elétrica oferecem aos seus usuários o medidor de energia líquida, onde o contador gira nos dois sentidos, dependendo se a companhia está fornecendo energia ou recebendo o excedente da energia produzida pelo consumidor como pode ser visto na Fig. 3 (LOPEZ, 2012).



Figura 3- Representação de sistema com medidor bidirecional

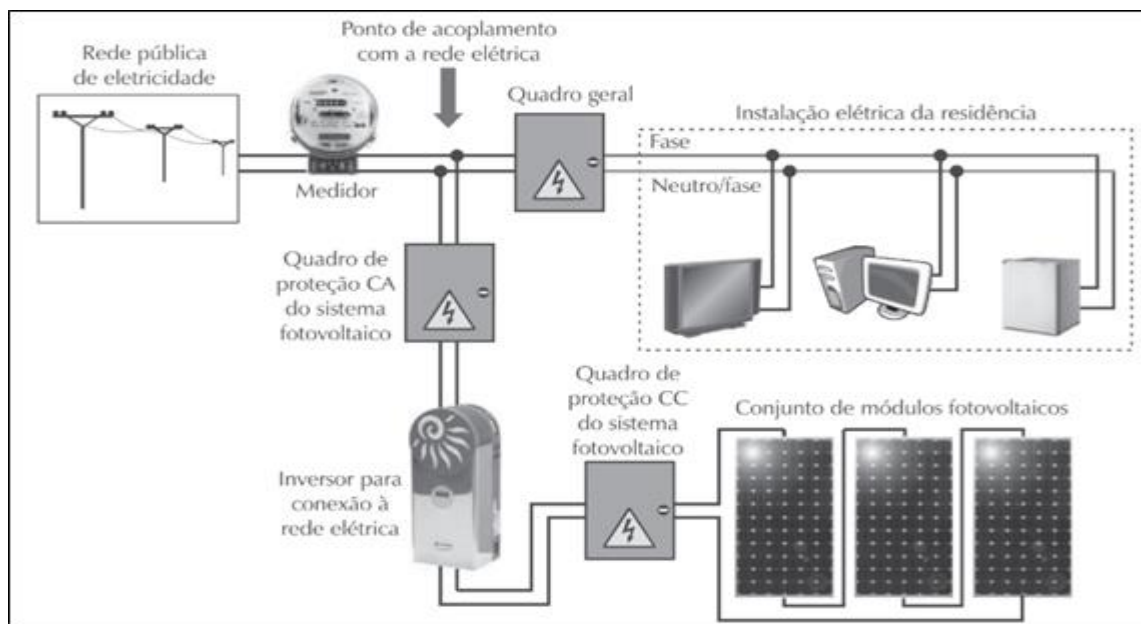


Fonte: Villalva (2015)

### 2.3.2 COMPONENTES DE UM SFCR

Os componentes básicos para implantação de um SFCR de microgeração de acordo com Villalva (2015) são: conjunto de painéis fotovoltaicos, inversor especial para conexão com rede, cabeamento elétrico, quadros elétricos e um medidor de energia, como pode ser visto na Fig. 4.

Figura 4- Componentes de um SFCR



Fonte: Villalva (2015)

### 2.3.2.1 Tipos de painéis

O dispositivo básico do painel fotovoltaico é a célula fotovoltaica, e a união de várias células formam os painéis, placas ou módulos fotovoltaicos, tendo eles o mesmo significado e sendo usados para descrever o conjunto de células comercialmente disponíveis (VILLALVA, 2015).

Em termos de aplicação terrestres, dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células fotovoltaicas, destacam-se o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e Índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS), dentre outros (RÜTHER, 2004).

As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações, cada uma com suas peculiaridades. A primeira geração apresenta o silício cristalino e representam mais de 85% do mercado; A segunda é comercialmente denominada de filmes finos, apresentando menor eficiência que a primeira; A terceira é composta por células orgânicas e células sensibilizadas por corante (PINHO; GALDINO, 2014).

A Tabela 1 é apresenta as potências por área para alguns tipos de tecnologias e relaciona-os com suas respectivas gerações.

Tabela 1- Potência por área para painéis de diferentes tecnologias

Geração	Tecnologia	Potência/área (Wp/m <sup>2</sup> )
1 <sup>a</sup>	Si monocristalino-m-Si	150
	Si policristalino p-Si	135
2 <sup>a</sup>	Si amorfo-a-Si	85
	Disseleneto de Cobre-Índio( e Gálio)-CI(G)S	100
	Telureto de Cádmio-CdTe-	110

Fonte: PINHO; GALDINO, 2014 (adaptado)

Esses dispositivos podem ser associados em série e/ou em paralelo, dependendo dos níveis de corrente e tensão que se deseja obter. Na conexão em série para dispositivos idênticos e submetidos à mesma irradiação tem-se a soma das tensões e a corrente não é afetada. Quando

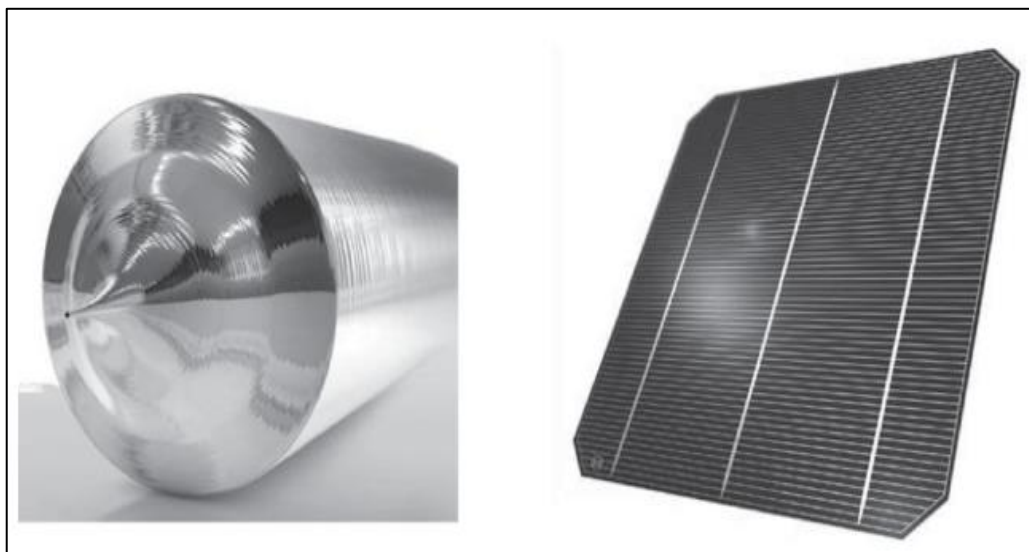
associado em paralelo as correntes são somadas e a tensão se mantém inalterada (PINHO; GALDINO, 2014).

Vale salientar que de acordo com Villalva (2015) módulos fotovoltaicos associados em série podem ser denominados por *string* e essa denominação será muito utilizada mais adiante.

#### 2.3.2.1.1 Silício monocristalino

De acordo com Portal Solar (2018) os painéis de silício monocristalino apresentam a tecnologia mais antiga e possuem a maior eficiência. Eficiência essa que fica entre 15% e 22%. São facilmente reconhecidos apenas olhando de perto, por apresentar uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados. São obtidos a partir do fatiamento de lingotes de silício de forma cilíndrica, recebendo tratamento e sendo transformada em célula fotovoltaica, então é redimensionado para otimizar o espaço disponível no painel, como pode ser visto na Fig. 5 o lingote inicial e resultado final da célula.

Figura 5- Lingote e célula de silício monocristalino



Fonte: Villalva (2015)

Sendo assim, a célula de silício monocristalino apresenta como pontos positivos a maior eficiência, vida útil elevada e a necessidade de menor espaço para uma mesma quantidade de energia produzida. Tendo como desvantagem seu preço e a necessidade de reciclagem do silício que é removido no redimensionamento na produção de cada célula (PORTAL SOLAR, 2018).

#### 2.3.2.1.2 Silício policristalino

Difere do monocristalino no método utilizado na fundição dos cristais, sendo o policristalino um pouco mais fácil de produzir, todavia, apresentam uma eficiência ligeiramente menor. Apresentando como vantagem na produção a menor quantidade de silício residual e geralmente sendo um pouco mais barato que o monocristalino (PORTAL SOLAR, 2018).

#### 2.3.2.1.3 Células de filme fino

As células de filme fino apesar de apresentarem custo relativo baixo, se degradam de forma mais rápida e possuem baixa eficiência necessitando assim de maior área para produzir a mesma energia que células de silício monocristalino, por exemplo. Essas células são produzidas a partir da deposição de finas camadas de silício ou outros materiais sobre uma base rígida ou flexível (VILLALVA, 2015).

De acordo com Villalva (2015) o processo de deposição permite a utilização de pequenas quantidades de matéria-prima, além de evitar o desperdício como ocorre na produção dos monocristalinos. Podendo ser produzidos em qualquer dimensão, tendo como única restrição a área da base para fabricação. Apresentam ainda melhor aproveitamento da luz para baixos níveis de radiação solar e podem ser menos sensíveis ao sombreamento.

#### 2.3.2.1.4 Células de silício amorfo

Difere das demais estruturas cristalinas por apresentar um grau elevado de desordem na estrutura dos átomos. Apesar de apresentar custo baixo para sua produção, ela apresenta baixa eficiência em comparação com a monocristalina e policristalina e tende a se degradar ainda com poucos meses de uso, o que reduz sua eficiência ao longo de sua vida útil (PORTAL ENERGIA, 2018).

Figura 6- Células de silício amorfo



Fonte: Portal Energia (2018)

### 2.3.2.2 *Inversor*

Os painéis fotovoltaicos geram energia em corrente contínua. Diante disso, torna-se necessário a utilização de inversor, para conversão CC-CA, para se obter tensão em corrente alternada com as características necessárias para atender as condições impostas pela rede elétrica pública (RÜTHER, 2004).

Os inversores são divididos em duas categorias quando tratamos de sistemas fotovoltaicos, que variam de acordo com o tipo de aplicação: SFIs e SFCRs. Ambos seguindo o mesmo princípio de funcionamento, porém os inversores SFCRs possuem características específicas para atender os quesitos exigidos pela concessionária de energia, tais como: segurança e qualidade da energia injetada na rede (PINHO; GALDINO, 2014).

Nos SFCRs os inversores CC-CA funcionam como fontes de corrente, ou seja, fornece corrente elétrica e não tem a capacidade de fornecer a tensão para os consumidores. Quando ocorre falha ou ausência no fornecimento de energia elétrica da concessionária de energia, o inversor deve interromper o fornecimento de eletricidade para rede, pois ele não é projetado para operar sem a rede elétrica e para evitar problemas relativos à segurança de equipamentos ou de pessoas que estejam manuseando à rede para manutenção (VILLALVA, 2015).

De acordo com Villalva (2015) para sistemas de microgeração e de minigeração é recomendável a utilização de mais de um inversor para que se aumente a confiabilidade do sistema, evitando que todo o sistema esteja em risco devido a falha de um único equipamento.

Para fornecer o máximo de energia à rede, o inversor deve operar no ponto de máxima potência (PMP) do arranjo fotovoltaico. Porém, o PMP deve variar com a temperatura de trabalho do módulo e as condições de radiação solar. Logo, o inversor deve possuir um sistema

de rastreamento do ponto de máxima potência (SOUZA, 2018). Esse sistema é conhecido por MPPT (Maximum Power Point Tracker) e deverá ajustar automaticamente a tensão de entrada do inversor, de acordo com o PMP a cada instante (SOUZA, 2018).

#### 2.3.2.2.1 Dimensionamento de inversores

De acordo com Villalva (2015) para a escolha do inversor deve-se atentar para os seguintes critérios:

A tensão de circuito aberto do *string* não deve ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor, pois uma sobretensão na entrada do inversor pode danificar o inversor;

A tensão de circuito aberto do *string* é dada pela Eq. (1):

$$V_{OC,STRING} = N_P \times V_{OC} \quad (1)$$

Onde:

$V_{OC,STRING}$  = Tensão de circuito aberto do *string*, V;

$N_P$  = Número de módulos da instalação fotovoltaica

$V_{OC}$  = Tensão de circuito aberto do módulo, V.

O inversor a ser selecionado deve suportar uma potência igual ou superior a potência de pico do conjunto de módulos.

A potência máxima ou de pico do *string* é dada pela Eq. (2):

$$P_{MÁX,STRING} = N_P \times P_{MÁX} \quad (2)$$

Onde:

$P_{MÁX,STRING}$  = Potência máxima ou de pico do *string*, W.

$N_P$  = Número de módulos

$P_{MÁX}$  = Potência máxima ou de pico do módulo, W.

#### 2.3.2.3 Cabeamento elétrico

Os cabos utilizados nesses sistemas devem ser resistentes à elevadas temperaturas, em geral 50 °C acima da temperatura ambiente, radiação ultravioleta e normalmente possuem duplo isolamento (RÜTHER, 2004).

De acordo com Torres (2012), na instalação elétrica de um sistema fotovoltaico (SF), os cabos utilizados devem atender aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma de instalações elétricas de baixa tensão NBR 5410.

Geralmente os cabos possuem sistema de engate rápido para facilitar a instalação dos equipamentos e garantir a qualidade da conexão. Esses cabos não devem ficar soltos e sujeitos à ação do vento, logo, deve-se utilizar abraçadeiras apropriadas para sua fixação à estrutura do sistema fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

#### 2.3.2.4 Dispositivos de proteção

##### 2.3.2.4.1 String Box

De forma mais geral, os inversores possuem quatro entradas para *strings*. Quando se tem um número de *strings* em paralelo superior a esse número deve-se fazer uso de conectores auxiliares ou de uma caixa de conexões denominada *string box*. Essa caixa pode ser construída com componentes avulsos adquiridos no mercado ou ser pré-fabricada. Ela concentra os cabos elétricos das diversas fileiras em dois barramentos elétricos, positivo e negativo, e possui fusíveis de proteção, sendo esses dispensáveis para o uso de até dois *strings* em paralelos (VILLALVA, 2015).

##### 2.3.2.4.2 Quadros elétricos

Os sistemas fotovoltaicos devem apresentar quadros de proteção de corrente alternada e corrente contínua para garantir a integridade dos equipamentos.

O quadro de proteção de corrente contínua do SF, em geral possui fusíveis, chave de desconexão CC e dispositivo de proteção contra surto elétrico<sup>1</sup>. Nesse quadro também deve conter o barramento de aterramento, para coletar as ligações à terra das carcaças dos módulos

---

<sup>1</sup> Surtos elétricos são distúrbios que ocorrem na rede elétrica e podem ser gerados pela incidência de raios, por quedas de energia, apagões e até por ativação ou desativação de grandes motores (VOLTELE, 2017).

e das estruturas metálicas. Já o quadro de proteção de corrente alternada, é responsável pela conexão com os inversores do sistema e a rede elétrica (VILLALVA, 2015).

#### 2.3.2.4.3 Aterramento

De acordo com Pinho e Galdino (2014) o aterramento é a ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, com o objetivo de garantir o correto funcionamento das instalações, proporcionando uma rota preferencial às correntes elétricas de surto, falta ou fuga, evitando o risco para pessoas e equipamentos.

Em SFCRs, é necessário fazer-se o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora ao terra) e o aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico ao terra, através do condutor neutro, no lado c.a.). O aterramento do lado c.c. depende da tecnologia de módulo ou de inversor utilizada (PINHO; GALDINO, 2014, p. 387).

#### 2.3.2.5 Estrutura de fixação

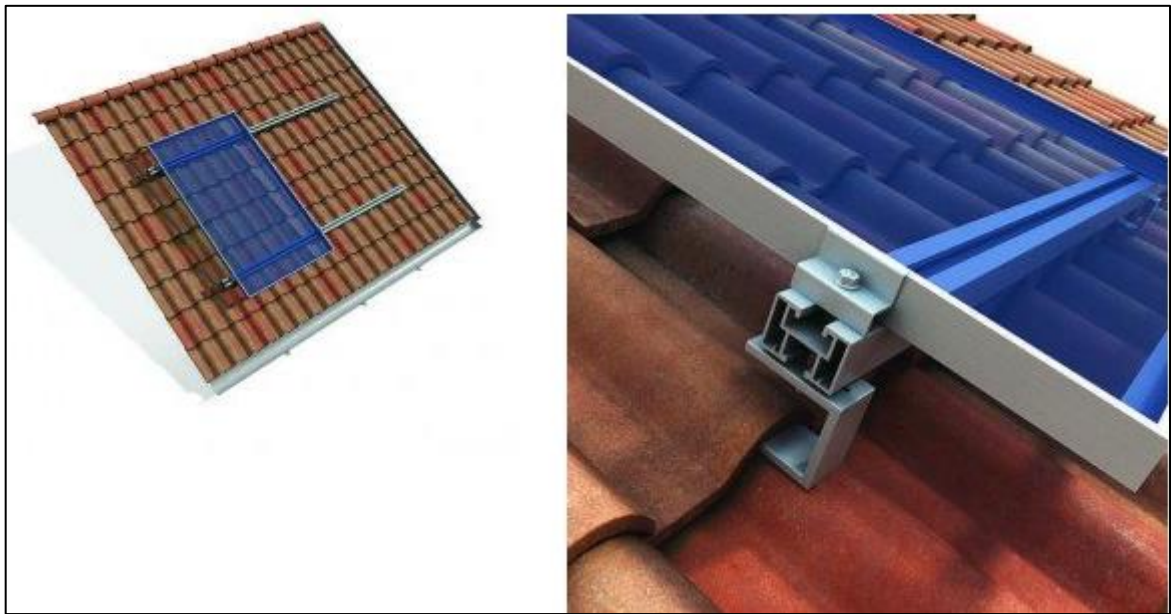
A estrutura de suporte tem por objetivo garantir o posicionamento estável dos módulos, assegurando a ventilação adequada para que possa ocorrer uma melhor dissipação do calor. Deve ainda possibilitar o distanciamento correto dos módulos para evitar danos mecânicos devido a dilatação dos mesmos (PINHO; GALDINO, 2014).

Os painéis fotovoltaicos devem ser montados sobre esta estrutura que deve ser rígida e de geometria adequada para dar a orientação e o ângulo de inclinação necessário ao projeto. Além do que já foi dito, a estrutura de fixação deve estar eletricamente aterrada e ser fabricada com materiais resistentes à corrosão (PINHO; GALDINO, 2014).

Verifica-se na Fig. 7 um exemplo desse item de fundamental importância para a instalação dos painéis fotovoltaicos.



Figura 7- Exemplo de estrutura de fixação



Fonte: NEOSOLAR (2018)

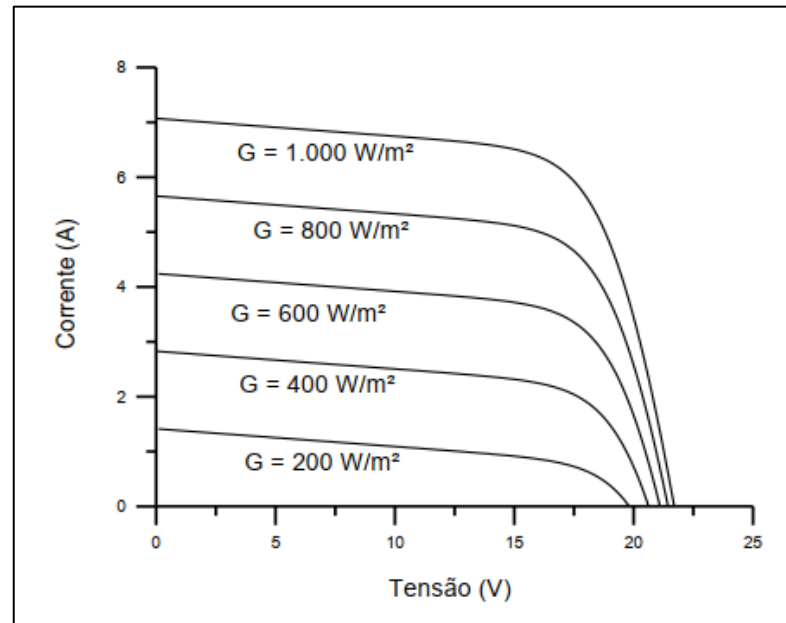
### 2.3.3 INFLUÊNCIA DOS FATORES EXTERNOS SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS

Alguns aspectos devem ser levados em consideração ao se tratar de módulos fotovoltaicos, tais como: efeito da irradiação solar, efeito da temperatura, sombreamento.

#### 2.3.3.1 *Efeito da irradiação solar*

A irradiação solar tem efeito direto na corrente elétrica gerada pelo painel, pois a corrente tem aumento linear com a irradiação (PINHO; GALDINO, 2014), como pode ser visto na Fig. 8, os efeitos causados em um módulo com 36 células de silício cristalino a 25°C.

Figura 8- Efeito causado pela variação da irradiação solar sobre a curva característica I-V.

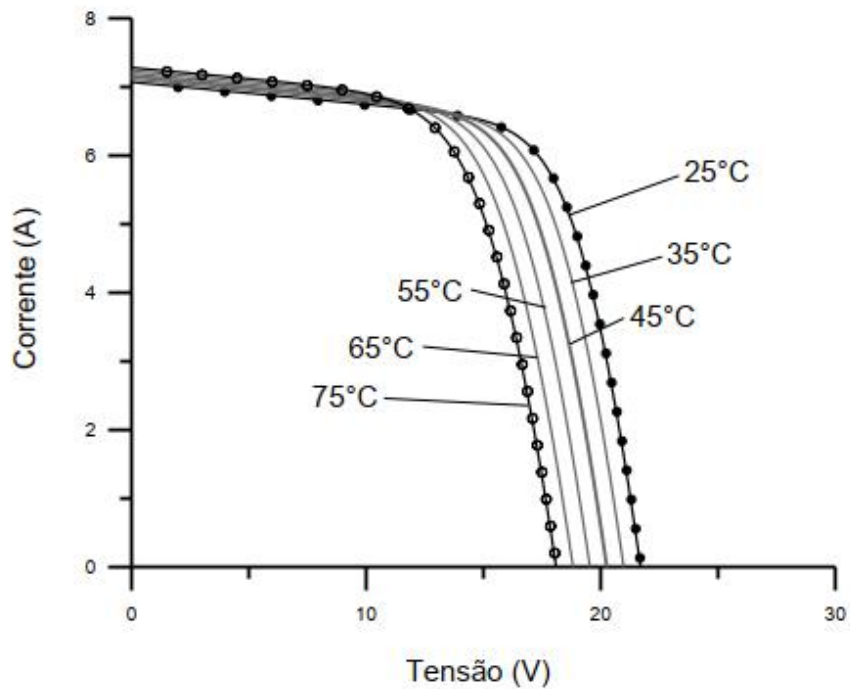


Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

#### 2.3.3.2 Efeito da temperatura

Pinho e Galdino (2014) afirmam que a incidência da irradiação solar e o aumento da temperatura ambiente, ocasionam o aumento da temperatura dos painéis. Esse fato tende a reduzir a eficiência do módulo, pois a corrente sofre uma elevação pequena em relação a perda causada pela diminuição da tensão, como pode ser visto na Fig. 9 os efeitos provocados pelo aumento da temperatura em um módulo com 36 células de silício cristalino sob irradiação de  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

Figura 9- Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

De acordo com Pinho e Galdino (2014) para obter-se a temperatura de operação do módulo de forma simplificada em determinadas condições ambientais pode se utilizar a Eq. (3):

$$T_{\text{MOD}} = T_{\text{AMB}} + K_t \times G \quad (3)$$

Onde:

$T_{\text{MOD}}$  = temperatura do módulo, °C;

$T_{\text{AMB}}$  = temperatura ambiente, °C;

$G$  = irradiação incidente sobre o módulo,  $\text{W/m}^2$ ;

$K_t$  = coeficiente térmico, podendo ser adotado o valor de  $0,03 \text{ } ^\circ\text{C/W.m}^2$ , se não for conhecido.

### 2.3.3.3 Efeito do sombreamento

De acordo com Rüther (2004) tem-se o sombreamento como uma questão crítica ao projeto. Pois, em grande parte dos projetos são adotadas associações em série dos módulos.

Quando se faz uso desse tipo de associação, qualquer que seja a sombra sobre uma dessas células pode reduzir acentuadamente o rendimento de todo o sistema, pois a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de radiação será responsável pela determinação da corrente do *string*.

O efeito do sombreamento pode ser evitado com a utilização de diodos by-pass entre cada célula de um módulo, porém isso leva a uma perda de rendimento (RÜTHER, 2004).

Para minimizar o efeito do sombreamento nos módulos fotovoltaicos, os fabricantes adicionam diodos by-pass (ou de passagem) ligados em paralelo com as células. O ideal seria existir um diodo para cada célula do módulo, mas isso teria um custo muito alto e tornaria difícil a fabricação dos módulos. Os fabricantes usam um diodo para um grupo com um certo número de células (VILLALVA, 2015, p. 91)

#### 2.3.4 DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

De acordo com Villalva (2015) a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é calculada utilizando a Eq. (4):

$$E_{\text{MÓDULO}} = E_S \times A_M \times \eta_M \quad (4)$$

Onde:

$E_{\text{MÓDULO}}$  = Energia produzida pelo módulo diariamente, Wh;

$E_S$  = Insolação diária, Wh/m<sup>2</sup>/dia;

$A_M$  = Área da superfície do módulo, m<sup>2</sup>;

$\eta_M$  = Eficiência do módulo.

Após o cálculo da energia produzida pelo módulo e conhecendo a energia que se deseja produzir diariamente ou mensalmente, determina-se o número de módulos necessários para o sistema utilizando a Eq. (5):

$$N_P = E_{\text{SISTEMA}} \div E_{\text{MÓDULO}} \quad (5)$$

Onde:

$N_P$  = Número de módulos da instalação fotovoltaica;

$E_{\text{SISTEMA}}$  = Energia produzida pelo sistema no intervalo de tempo considerado, kWh;

$E_{\text{MÓDULO}}$  = Energia produzida por um módulo no mesmo intervalo de tempo, kWh.

### 2.3.5 INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS

Quando não se utilizam painéis que acompanham a trajetória do sol, ou seja, quando se faz uso de painéis fixos, deve-se utilizar uma inclinação no painel tal que busque otimizar o aproveitamento do recurso solar. Essa inclinação no hemisfério sul deve ser próxima da latitude do local da instalação e o painel deve ser direcionado para o norte geográfico (EPE, 2012).

Os ângulos de inclinação podem ser obtidos também a partir da utilização de programas específicos. Para o caso em questão será utilizado o programa SunData que fornecerá a inclinação mais adequada para a localização do imóvel (CRESESB, 2018).

De acordo com Villalva (2015) não é recomendável a instalação de painéis com inclinação inferior a 10° com o objetivo de evitar acúmulo de poeira, facilitando assim a autolimpeza com a água da chuva.

## 2.4 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA PARA A REDE

A definição do ponto de conexão com a rede é normatizada. Para o projeto em questão ela é definida pela concessionária de energia da região, a Energisa.

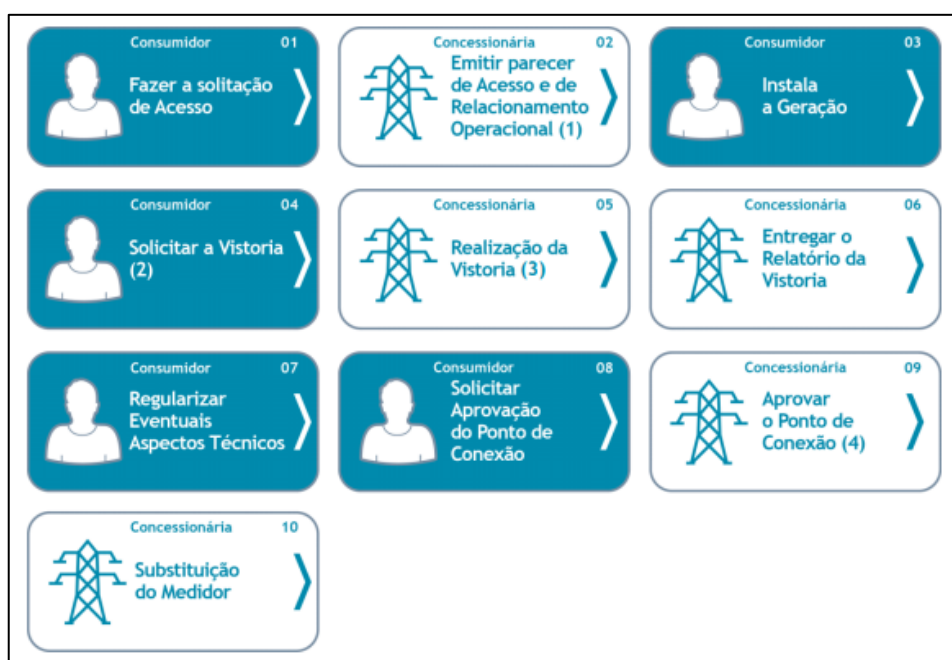
### 2.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com Energisa (2017) a conexão de acessantes em baixa tensão não poderá acarretar prejuízos ao desempenho e aos níveis de qualidade dos serviços públicos de energia elétrica a qualquer consumidor, podendo a empresa interromper o acesso ao seu sistema caso constate a ocorrência de qualquer procedimento irregular ou deficiência técnica e/ou de segurança das instalações de conexão que possam oferecer risco iminente de danos a pessoas ou bens.

#### 2.4.1.1 *Procedimento de acesso*

Para tornar possível o acesso ao sistema elétrico, será necessário o cumprimento das etapas de solicitação demonstradas na Fig. 10.

Figura 10- Etapas de solicitação de acesso



Fonte: Energisa (2017)

- (1) a) em até 15 dias para Microgeradores – se não houver necessidade de obra de reforço de rede.  
b) em até 30 dias para Microgeradores – se houver necessidade de obra de reforço de rede.  
c) em até 30 dias para Minigeradores – se não houver necessidade de obra de reforço de rede.  
d) em até 60 dias para Minigeradores – se houver necessidade de obra de reforço de rede.
- (2) em até 120 dias.
- (3) Em até 7 dias. Se houver pendências, o relatório será entregue em até cinco dias para o acessante.
- (4) Até 7 dias quando não forem encontradas pendências. (ENERGISA, 2017, p. 21)

Para dar início ao procedimento de acesso é necessário a realização da solicitação de acesso. Essa por sua vez é realizada mediante formulário específico, ver Anexo A, que deve ser encaminhado obrigatoriamente à Energisa pelo acessante, que se propõe a interligar sistemas de microgeração ao sistema de distribuição (ENERGISA, 2017).

#### 2.4.1.2 Sistema de medição

De acordo com Energisa (2017) cabe a distribuidora responsabilidade por adquirir e instalar o sistema de medição sem custos para o acessante no caso de microgeração distribuída, assim como é responsável por sua operação e manutenção, estando inclusos os custos de uma eventual substituição.

### **3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

O projeto de implantação do sistema fotovoltaico busca o suprimento de parte da demanda de energia elétrica do imóvel. Em geral, quando se elabora determinado projeto, alguns quesitos devem ser atendidos, tais como: disponibilidade de área, orientação dos painéis, estética, disponibilidade do recurso solar, a demanda a ser atendida e outros fatores (PINHO; GALDINO, 2014).

Para o projeto em questão as informações relativas ao consumo de energia elétrica e possíveis espaços destinados à alocação dos equipamentos foram fornecidas pelo proprietário do imóvel.

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL**

A residência alvo do projeto está localizada na Rua Cantora Geni Santos, 68, Mangabeira II, João Pessoa-PB. Onde verificou-se a possibilidade de utilização da geração de energia fotovoltaica como uma alternativa para a geração de energia elétrica tendo em vista que o local apresenta alto nível de irradiação solar, a instalação do sistema ocorre de maneira fácil e não apresenta danos ambientais ao seu redor. Para tal optou-se por escolher o sistema fotovoltaico conectado à rede, tendo em vista que o local se encontra em área urbana e por querer evitar o uso de baterias devido ao seu tempo de vida útil, além dos danos ambientais decorrentes do seu descarte.

Será desprezado nesse trabalho qualquer influência oriunda de sombreamento, tendo em vista que nas imediações do imóvel não existem quaisquer elementos que possam causa-lo diariamente, tais como árvores, prédios, entre outros.

#### **3.2 NECESSIDADE ENERGÉTICA**

Os dados utilizados para quantificar a necessidade energética do sistema, foram obtidos a partir das contas anteriores de energia da residência referentes a um período de 24 meses antes do início da elaboração do projeto.

A partir do consumo energético fornecido, ver apêndice A, será possível estipular uma média para o concurso de energia residencial e em cima desse valor será possível realizar o dimensionamento necessário do sistema para suprir o consumo.

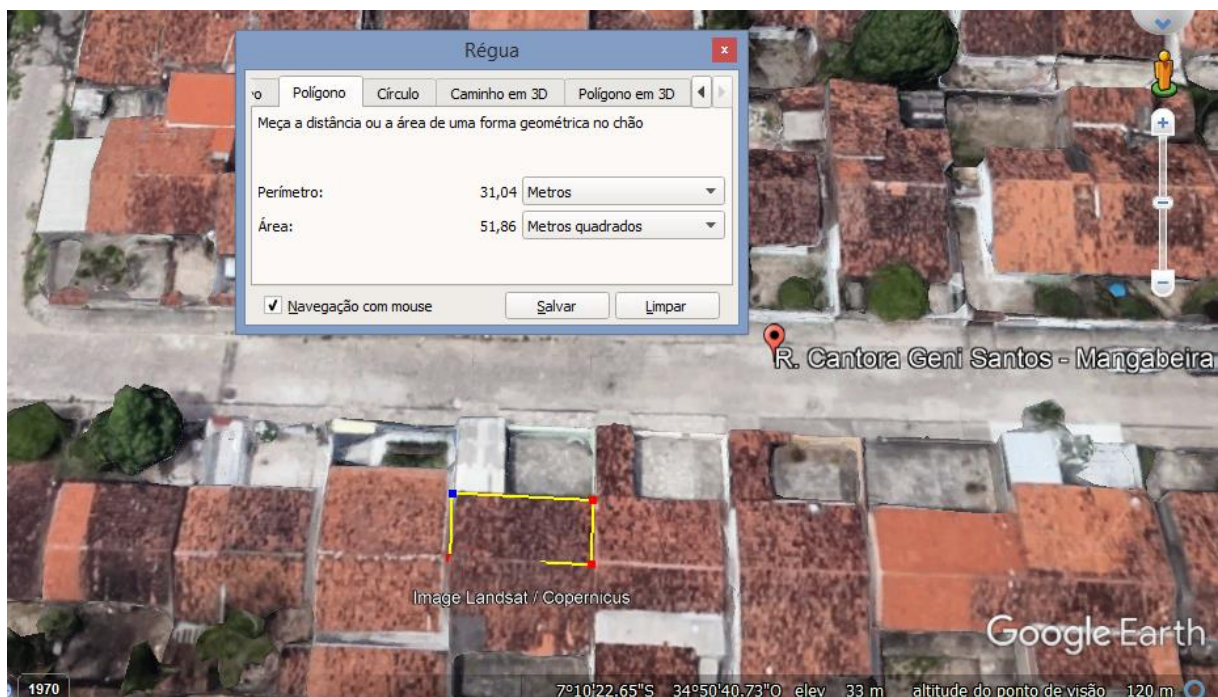
A partir da média do consumo será subtraído desse valor o custo de disponibilidade, que é o custo que deve ser aplicado sempre que de acordo com a Aneel (2010) o consumo medido ou estimado for inferior a 30 kWh para o sistema em questão.

Ou seja, para este estudo será dimensionado um sistema capaz de gerar 116,79 kWh ao mês.

### 3.3 DESCRIÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO

O imóvel apresenta uma área total de 200 m<sup>2</sup>, porém a área a ser utilizada será a parte do telhado direcionada para o norte. O espaço disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos pode ser visto na Fig. 11 e conta com cerca de 52 m<sup>2</sup>. A medição do telhado disponível foi feita com o uso da ferramenta denominada régua do Google Earth.

Figura 11- Área destinada a instalação dos painéis



Fonte: Google Earth (2018)



### 3.4 ÍNDICE SOLARIMÉTRICO DO LOCAL

Tem-se no índice solarimétrico o primeiro parâmetro que irá determinar a viabilidade do projeto. Ele será dado a seguinte forma ( $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ ), que reflete o número de horas por dia em que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a  $1\text{kW/m}^2$  (PINHO; GALDINO, 2014)

Para a obtenção dos dados relacionados ao índice de radiação solar incidente utilizaremos o programa SunData que apresenta a irradiação solar diária média mensal para o local especificado (CRESESB, 2018).

Para a utilização do programa e obtenção dos dados, é necessário a latitude e longitude do local desejado. O local do presente estudo apresenta latitude  $-7,1730375$  e longitude  $-34.8448965$ , informações obtidas com a utilização do Google Maps. Após informar os dados necessários para a busca, o site irá fornecer os dados de irradiação solar para no mínimo 3 localidades disponíveis próximas ao ponto de interesse.

Para o trabalho em questão os dados fornecidos pelo programa foram coletados de um ponto há 3,1 km do local do estudo de acordo com o anexo B.

O anexo B apresenta quatro opções de valores médios de irradiação no local, informando a angulação que deve ser utilizada na instalação dos painéis solares e sua respectiva orientação.

No projeto a quarta opção de inclinação que é de  $20^\circ$  será utilizada, pois além do fato que das demais irem no sentido contrário ao que foi dito em relação à inclinação dos painéis, que deve ser de no mínimo  $10^\circ$ , a inclinação selecionada apresenta um valor muito próximo da inclinação do telhado da residência que é de  $21^\circ$ .

De acordo com Villalva (2015) o dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando a irradiação média anual pode levar a falhas, pois pode ocorrer falta de energia nos meses de inverno. Logo, deve-se utilizar para o cálculo o valor da insolação referente ao pior mês do ano, isso irá garantir o abastecimento de energia nos meses de menor insolação.

Logo, será adotado no projeto como sendo o valor de referência para os cálculos o valor mínimo de irradiação solar média mensal, que ocorre no mês de junho e é de  $5,02\text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ .

### 3.5 TEMPERATURA MÉDIA LOCAL

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a temperatura média anual do local em 2017 foi de  $25^\circ\text{C}$ . Esse valor será utilizado como referência para a temperatura ambiente do local.

Então utilizando o valor da temperatura ambiente, adotando  $K_t$  como sendo  $0,03 \text{ W/m}^2$  e sob uma irradiação de  $1\text{kW/m}^2$ , será obtida pela Eq. (3):

$$T_{\text{MOD}} = 25 + 0,03 \times 1000 = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tem-se que a temperatura de funcionamento do módulo fotovoltaico será de  $55^{\circ}\text{C}$ .

### 3.6 SELEÇÃO DOS PAINÉIS

Mediante pesquisas em lojas especializadas no comércio de painéis solares fotovoltaicos foi possível montar a Tabela 2:

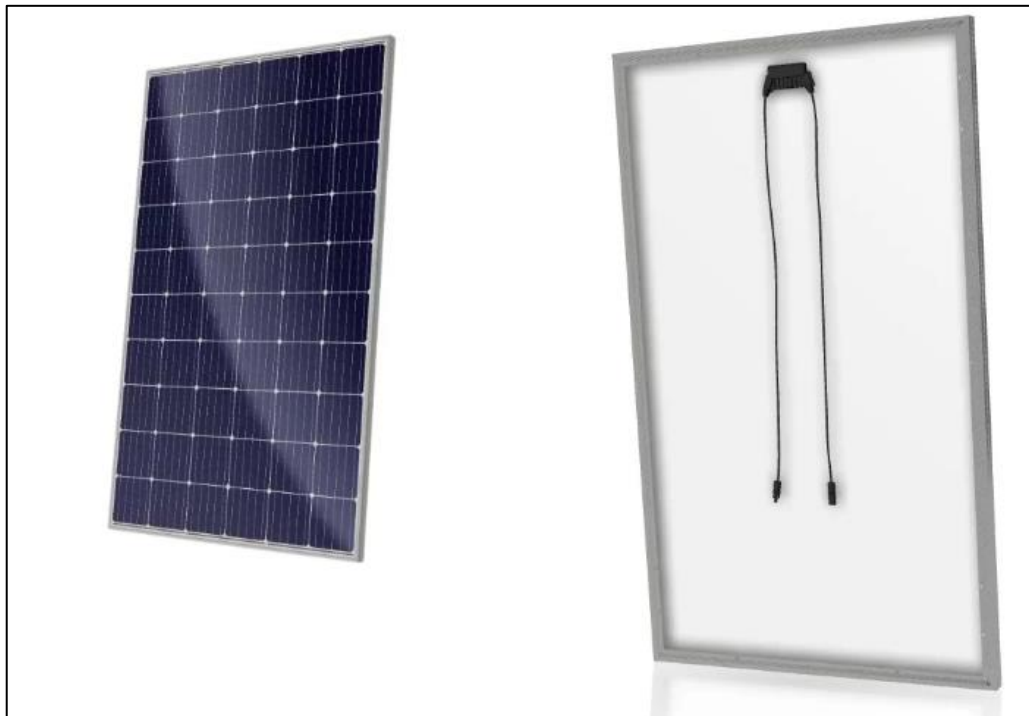
Tabela 2- Pesquisa de painéis fotovoltaicos

Marca	Modelo	Fornecedor	Potência (W)	Eficiência	Valor (R\$)	Valor/Potência (R\$/W)
Yingli	YL150P-17b	NeoSolar	150	15,0%	389,00	17,29
Yingli	YL270P-29b	NeoSolar	270	16,6%	549,00	12,25
Yingli	YL320P-35b	NeoSolar	320	16,5%	678,00	12,84
Canadian	CS6K-275P	MinhaCasaSolar	275	16,8%	538,47	11,66
RISEN	RSM36-6-150P	MinhaCasaSolar	150	15,2%	389,67	17,15
Canadian	CS6k300MS	MinhaCasaSolar	300	18,3%	631,47	11,48
Talesun	TP672P	MinhaCasaSolar	270	16,5%	519,87	11,67
RESUN	RS6C250P	Energia Livre	250	15,4%	560,00	14,57
JINKO	JKM270PP-60	Energia Livre	270	16,5%	647,00	14,52

Fonte: O autor

Onde por meio de análise relativa a custo, eficiência e potência, verificou-se que o painel que apresenta o melhor custo-benefício seria o painel solar de 60 células Monocristalino de 300W, modelo CS6K300MS, da marca Canadian Solar. Com temperatura de operação variando de  $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $+85^{\circ}\text{C}$ . Ou seja, a temperatura encontrada na seção 3.5 está dentro do limite.

Figura 12- Pannel selecionado para o projeto



Fonte: Minha Casa Solar (2018)

Figura 13- Especificações do pannel selecionado

#### ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Condições Padrões de Teste\*(CPT):

- Potência máxima (Pmax): 300Wp
- Tolerância: 0% a +5%
- Tensão em circuito aberto (Voc): 39,7V
- Tensão de Pico (Vmpp): 32,5V
- Corrente de curto-circuito (Isc): 9,83A
- Corrente de Pico (Impp): 9,24A
- Voltagem máxima do sistema: 1000V
- Tipo de célula: Silício Monocristalino PERC
- Dimensões pannel: 1650 x 992 x 40 (mm)
- Moldura: Alumínio
- Peso: 18,2 kg

\*CPT: Irradiação de 1000W / m<sup>2</sup>, Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C

Fonte: Minha Casa Solar (2018)

Com os dados do painel selecionado, com a energia diária necessária para o imóvel e com as Eqs. (4) e (5), podemos determinar a energia produzida diariamente por cada módulo fotovoltaico e o número de módulos necessários para atender a demanda da residência.

Fazendo uso da Eq. (4), é possível saber a energia produzida diariamente por cada módulo.

Porém, antes de realizar o cálculo com o rendimento especificado pelo fabricante, deve-se perceber que esse cálculo para o rendimento é baseado em condições ideais, onde a temperatura para a base do cálculo de rendimento foi de 25 °C e como foi dito anteriormente a temperatura terá efeito sobre o rendimento do sistema. Então, é dito pelo fabricante, ver anexo C, que para cada grau acima de 25 °C, será reduzido 0,39% da potência máxima. Ou seja, o rendimento para 30° C acima da temperatura de teste a potência máxima do sistema será de 264,9 Wp.

Aplicando regra de três simples é possível obter o rendimento do painel contabilizando as perdas decorrentes dos efeitos da temperatura. Logo, seu rendimento será de 16,185 %.

Então, esse valor deve ser aplicado para calcular o valor produzido nas condições de funcionamento reais.

$$E_{\text{MÓDULO}} = E_S \times A_M \times \eta_M$$

$$E_{\text{MÓDULO}} = 5,02 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 1,6368 \text{m}^2 \times 0,16185 = 1,3299 \text{ kWh}$$

Logo, cada módulo será capaz de produzir 1,3299 kWh por dia.

A partir da obtenção da energia produzida por cada módulo, será possível definir o número de módulos necessários para suprir a demanda do imóvel, utilizando a Eq. (5). Entretanto é necessário obter o valor do consumo diário do imóvel a partir do apêndice A que informa o consumo mensal.

Sabendo que 116,79 kWh, referente a média do consumo mensal da residência subtraído o consumo 30 kWh referente a disponibilidade, é possível obter a média para o consumo diário dividindo esse valor por 30 dias, obtendo assim 3,893 kWh por dia.

Logo,

$$N_P = E_{\text{SISTEMA}} \div E_{\text{MÓDULO}}$$

$$N_P = 3,893 \text{ kWh} \div 1,3299 \text{ kWh} = 2,9272$$

Então serão utilizados 3 painéis no projeto, pois deve-se utilizar o número arredondado para cima. Logo, a energia produzida será superior a demandada pelo sistema, e será de 3,9897 kWh por dia.

Com o número de painéis utilizados e a área ocupada por cada painel a partir de suas informações técnicas, podemos estabelecer a área que será utilizada para a instalação dos módulos. Sabendo que cada módulo possui as seguintes dimensões (1,65m x 0,992m), então a área ocupada por cada um é de 1,6368 m<sup>2</sup>, multiplicando pela quantidade de módulos necessários tem-se uma área total de 4,9104 m<sup>2</sup>.

### 3.7 SELEÇÃO DO INVERSOR

Para a seleção do inversor, algumas informações do sistema devem ser observadas, tais como foram vistas na seção 2.3.2.2 e considerando que os quatro painéis serão ligados em série.

Utilizando a Eq. (1) para obter a tensão de circuito aberto do *string*:

$$V_{\text{OC,STRING}} = N_P \times V_{\text{OC}} = 3 \times 39,7 = 119,1 \text{ V}$$

Sendo conservativo e adotando um fator de segurança de 10%, a tensão máxima na saída do *string* será:

$$V_{\text{OC,STRING}} = 119,1 \times 1,1 = 131,01 \text{ V.}$$

Agora, utilizando a Eq. (2) para obter a potência máxima ou de pico do *string*, onde buscando ser conservativo, utilizaremos a potência de pico para condições ideais:

$$P_{\text{MÁX,STRING}} = N_P \times P_{\text{MÁX}} = 3 \times 300 = 900 \text{ Wp}$$

Após, a obtenção desses dados, foi possível fazer uma pesquisa acerca de inversores que atendessem a necessidade do projeto e comparar valores para obter o melhor custo benefício. Tendo sido considerado na pesquisa 3 fornecedores especializados no ramo de sistemas fotovoltaicos.

Para a seleção dos inversores utilizados para montar a Tabela 3 foram considerados o valor, a potência máxima de entrada e sua tensão máxima de entrada.

Tabela 3- Opções de inversores no mercado

Marca	Modelo	Fornecedor	Valor (R\$)	Potência Máxima (W)	Tensão Máxima (V)	Garantia (anos)
Growatt	1500-S	Minha Casa Solar	2152,74	1500	450	5
Fronius Galvo	1.5-1	NeoSolar	4570,02	1600	420	5
Ecolys	ECOS2000	Energyshop	2783,04	2385	340	5

Fonte: O autor

O inversor selecionado para o projeto foi o modelo 1500-S da marca Growatt, pois como pode ser visto na Tabela 3 ele apresenta a potência máxima superior a encontrada como sendo a máxima de pico do *string*, a tensão máxima de entrada é superior a tensão de circuito aberto do *string* e seu valor foi o menor dentre os três que foram apresentados.

Figura 14-Inversor selecionado



Fonte: Minha Casa Solar (2018)

Figura 15-Especificações do inversor selecionado

ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO
<b>Parâmetros da Entrada</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência fotovoltaica nominal: 1500W</li> <li>• Tensão máxima: 450Vcc</li> <li>• Faixa de operação MPPT: 70Vcc - 450Vcc</li> <li>• Tensão CC de partida: 80V</li> <li>• Corrente CC máxima para cada MPPT: 10A</li> <li>• Número de MPPTs independentes: 01</li> </ul>
<b>Parâmetros da Saída:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência CA Nominal: 1500W</li> <li>• Potência Máxima em CA: 1600W</li> <li>• Corrente Máxima em CA: 7,8A</li> <li>• Saída nominal CA: 180Vca - 280Vca</li> <li>• Frequência: 50, 60Hz</li> <li>• THD: &lt;3,0%</li> <li>• Conexão CA: Monofásica</li> </ul>
<b>Eficiência:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência máxima: 97%</li> </ul>
<b>Dados Gerais:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensões: 355mm x 313mm x 191mm</li> <li>• Peso líquido: 6 Kg</li> <li>• Ambiente de operação: Interno ou externo</li> <li>• Montagem: Fixação na parede</li> <li>• Temperatura de operação: -25°C a +60°C (acima de 55°C com derate)</li> <li>• Umidade relativa: 0% a 100%</li> <li>• Altitude: 2000m</li> <li>• Grau de proteção: IP65</li> <li>• Topologia: Sem transformador</li> <li>• Ventilação: Convecção natural</li> <li>• Garantia: 05 anos contra defeitos de fabricação</li> <li>• Registro INMETRO: 005814/2016</li> </ul>

Fonte: Minha Casa Solar (2018)

### 3.8 INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Para a instalação do sistema foi feita uma pesquisa com empresas especializadas em sistemas fotovoltaico na região e observado que em média o custo com instalação, estrutura de fixação dos painéis, cabeamento e homologação do projeto junto a concessionária de energia, fica em torno R\$ 2.250,00. Então, adotaremos esse valor para os cálculos a seguir.

### 3.9 CUSTO DO INVESTIMENTO

Para os custos relativos ao projeto, os valores de aquisição são os considerados os para pagamento à vista.

Logo, a partir dos valores dos painéis e do inversor selecionados já obtidos anteriormente será possível estimar o custo total do projeto, que pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4- Custo do projeto

<b>Equipamento</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
Painel	631,47	3	1894,41
Inversor	2152,74	1	2152,74
Demais equipamentos e mão de obra			2250,00
<b>Custo total</b>			<b>6297,15</b>

Fonte: O autor

### 3.10 RETORNO DO INVESTIMENTO

*Payback* simples refere-se ao período de tempo necessário para que o investidor consiga recuperar o capital investido inicialmente (BROM; BALIAN, 2007). Ou seja, a partir da aplicação desse método será possível dizer com quanto tempo o ganho acumulado será igual ao investimento feito inicialmente de R\$ 6.297,15. Para esse projeto o tempo computado no *payback* será dado em meses.

Como pode ser visto no apêndice B, o tempo para retorno do investimento inicial seria de 76 meses, ou seja, 6 anos e 4 meses. Onde foi utilizado a média do valor atual da conta de



energia, porém subtraindo o valor relativo ao custo de disponibilidade e desconsiderando reajustes na tarifa de energia. Considerando assim uma redução na fatura de energia de cerca de 79%, ficando assim atribuído a conta do consumidor apenas o custo de disponibilidade.

### 3.11 SIMULAÇÃO DE ORÇAMENTO

Algumas empresas disponibilizam em seus sites a opção para que o cliente possa realizar uma simulação relativa ao sistema fotovoltaico desejado, informando ao cliente basicamente o que foi visto no decorrer desse trabalho, como o número de painéis, número de inversores, tipos de painéis que podem ser utilizados, entre outros. Para essa simulação utilizaremos a “calculadora solar” disponível no site da empresa NeoSolar.

Essa simulação tem por objetivo comparar os valores obtidos anteriormente no item 3.9 com os da empresa citada. Fazendo uma análise econômica do projeto, observando se os valores encontrados estão condizentes com o orçamento realizado.

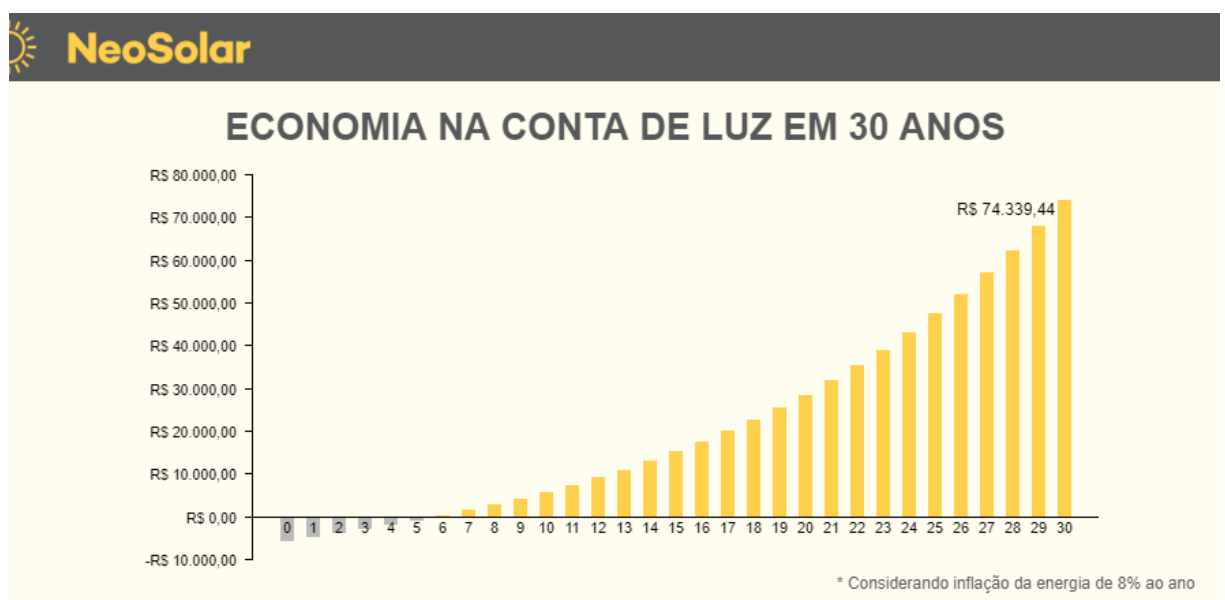
Após o preenchimento de dados relativos ao local onde deseja-se realizar instalação do sistema fotovoltaico, o simulador irá retornar com algumas informações relativas ao investimento necessário, a estimativa ambiental e o sistema indicado, como pode ser visto na Fig. 16. Também é possível visualizar a projeção para o retorno do investimento como é mostrado na Fig. 17.

Figura 16-Resultado da simulação



Fonte: Neosolar (2018)

Figura 17-Estimativa para o retorno do investimento a partir da simulação



Fonte: Neosolar (2018)

Como pode ser observado a partir das Fig. 16 e Fig. 17, os dados obtidos a partir da literatura e seleção de equipamentos são condizentes com os que foram obtidos mediante a utilização do simulador da empresa NeoSolar.

### 3.12 INVESTIMENTO EM CADERNETA DE POUPANÇA

A simulação do investimento do dinheiro destinado a aquisição do sistema fotovoltaico será utilizada para definir se para o projeto em questão, o que seria mais vantajoso, investir na implantação de um sistema fotovoltaico ou se seria mais rentável aplicar o mesmo dinheiro relativo ao custo de implantação do sistema em uma caderneta de poupança.

De acordo com o Banco Central do Brasil (BACEN) (2018) e seguindo o que diz a legislação atual, a remuneração dos depósitos de poupança é composta de duas parcelas, sendo elas a remuneração básica, dada pela Taxa Referencial (TR) e pela remuneração adicional.

A remuneração adicional varia de acordo com a taxa Selic. Se a taxa Selic ao ano for superior a 8,5% a remuneração será de 0,5% ao mês, caso contrário ela será de 70% da meta da taxa Selic ao ano, mensalizada, vigente na data de início do período de rendimento, enquanto a meta da taxa Selic ao ano for igual ou menor que 8,5% (BACEN, 2018).

O cálculo do rendimento é feito sobre o menor saldo na conta no período de rendimento, sendo esse período de um mês corrido, contando a partir da data de aniversário da conta. Todavia, esse prazo é apenas para os depósitos de pessoas físicas e entidades sem fins lucrativos, para os demais esse prazo é trimestral (BACEN, 2018).

Para o cálculo realizado nessa simulação utilizaremos os valores das remunerações atuais que de acordo com o BACEN são de 0,0% para a remuneração básica e 0,3715% para a remuneração adicional. Ou seja, para o presente momento a poupança está rendendo 0,3715% ao mês.

Aplicando a fórmula de juros composto é possível saber o valor obtido dentro do mesmo prazo, para o qual iria ocorrer o *payback* com a aquisição do sistema fotovoltaico, ou seja, 76 meses. Então, pode-se observar a partir do apêndice C que para o valor inicial de R\$ 6297,15, o valor final do investimento na caderneta de poupança após os 76 meses será de R\$ 8347,10. Logo, um valor acumulado acrescido de R\$ 2.049,95.

#### **4 ANÁLISE FINANCEIRA DOS RESULTADOS**

A partir dos dados obtidos ao longo do trabalho, pode-se observar que para a implantação do sistema fotovoltaico o retorno acumulado seria de R\$ 6.306,48 ao final dos 76 meses, enquanto que para a aplicação do dinheiro na caderneta de poupança esse retorno seria de R\$ 2.049,95.

Logo, para essa análise de viabilidade levando em consideração apenas a aplicação do investimento na implantação de um sistema fotovoltaico e a aplicação do investimento em caderneta de poupança, pode-se dizer que é viável a implantação do sistema fotovoltaico.

O tempo de retorno poderia ter sido maior se para os valores relativos ao custo de aquisição dos elementos do sistema fotovoltaico tivessem sido considerados os valores a prazo, pois considerando esses como sendo os valores de à vista tem-se uma redução em cerca de 15% desse valor.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento desse trabalho, foi possível identificar as etapas para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede e os fatores que influenciam esse dimensionamento, assim como também foi feita a análise técnica e financeira da implantação desse sistema. Tendo sido comparado o retorno do valor inicial do investimento na implantação do SFCR com a aplicação desse valor inicial em uma caderneta de poupança.

Com a utilização do *payback* foi possível verificar que o retorno do investimento ocorre bem antes do tempo de vida útil dos equipamentos que fica em torno de 25 anos, sendo que para os painéis o retorno vem antes mesmo do tempo de garantia que é de 10 anos, já para o inversor o tempo de retorno ficou pouco acima do tempo de garantia que é de 5 anos.

De um modo geral, o trabalho tentou mostrar as variáveis que influenciam na implantação de um sistema desse tipo, que dependem bastante das características do local, tendo bastante importância nessa aplicação o espaço disponível para a instalação, a inclinação do local onde será instalado, da irradiação local, a temperatura ambiente.

Por fim, com a análise comparativa dos resultados foi possível observar que para essa aplicação a implantação do sistema fotovoltaico foi considerada viável e mais rentável que a aplicação do valor em caderneta de poupança, gerando para a unidade consumidora uma diminuição estimada em cerca 79% do valor da sua fatura de energia.

Para trabalhos futuros, fica a sugestão para a realização de uma análise comparativa entre a implantação de um SFCR com outras formas de investimento.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia\\_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em 11/05/2018.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 414**, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualiza e consolidada. Brasília, DF, 2010.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. E os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BACEN. **Remuneração dos Depósitos de Poupança**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em 13/07/2018.

BARBOSA FILHO, W.P. et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. R. gest. Sust. Ambiente., Florianópolis, n esp, p.628-642, dez. 2015.

BROM, L.G.; BALIAN, J.E.A. Análise de Investimentos e Capital de Giro: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Saraiva, 2007.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Programa Sundata. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acesso em 29/06/2018.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO; CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em 14/05/2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro, EPE, 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em 07/02/18.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica, Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, EPE, 2012. Disponível em <[http://antigo.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos\\_23/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://antigo.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf)>. Acesso em 06/07/2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE/OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA- **Nota Técnica DEA 001/2017 – Projeção da Demanda da Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026).** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001\\_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026\\_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf)>. Acesso em 03/02/2018.

ENERGISA. **NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA–NDU-013. Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição da energisa para conexão em baixa tensão.** versão 3.1, Dezembro, 2017. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20013%20-%20Crit%C3%A9rios%20para%20a%20Conex%C3%A3o%20de%20Acessantes%20de%20GD%20ao%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20da%20Energisa%20-%20Conex%C3%A3o%20em%20BT%20V3.pdf>. Acesso em: 12/07/2018.

FONTES, Fernando Antonio de S.; BASTOS, PRFMA. Experiência com Geração Fotovoltaica no Estado da Bahia. **Proc. 2012 IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/notatecnica.html>>. Acesso em 19/02/2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>>. Acesso em 10/07/2018.

LOPEZ, R. A., **Energia Solar Para Produção de Eletricidade**, Editora Artliber, São Paulo, 2012.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <[www.minhacasasolar.com.br](http://www.minhacasasolar.com.br)>. Acesso em 11/07/2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMkWWb/content/geracao-distribuida-mantem-crescimento-com-quase-8mil-conexoes](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMkWWb/content/geracao-distribuida-mantem-crescimento-com-quase-8mil-conexoes)>. Acesso em 19/02/2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Resenha energética brasileira** – Exercício de 2016, Ed. de junho de 2017.

NBR 11704. **Sistemas Fotovoltaicos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2008.

NEOSOLAR. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica>>. Acesso em 12/07/2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia solar**. 2ª. ed. São José dos Campos-Brasil: [s.n.], 2017. 80p. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf)>. Acesso em 15/02/2018.

PINHO, J. T., GALDINO, M. T., 2014, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. In: Grupo de Trabalho de Energia Solar – CEPEL – DTE – CRESESB

PINTO JR., H. Q. et al. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PORTAL ENERGIA. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/>>. Acesso em 15/07/2018.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <[www.portalsolar.com.br](http://www.portalsolar.com.br)>. Acesso em 15/07/2018.

RAMPINELLI, G. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Porto Alegre: Tese de Doutorado, 2010.

REIS, L. B.; SANTOS, E. C.; 2014. Energia Elétrica e Sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. Editora Manole. São Paulo, 2ed.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SILVA, Jorge Andrade et al. Energia Solar Fotovoltaica: Um tema gerador para o aprendizado de Física. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, 2017.

SOUZA, Ronilson di. Os sistemas de energia solar fotovoltaica. **Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. Ribeirão Preto: Bluesol**, 2018. Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 15/05/2018.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. rev. e atual - São Paulo. Ed. Erica. 2015

VOLTELE – Materiais Elétricos, 2017. Disponível em: <<https://voltele.com.br/voce-sabe-o-que-e-surto-eletrico-compreenda-este-disturbio-e-suas-ameacas-aos-nossos-eletroeletronicos/>>. Acesso em 18/07/2018.



**APÊNDICE A - CONSUMO ENERGÉTICO DA RESIDÊNCIA PARA UM PERÍODO DE DOIS ANOS**

<b>Mês</b>	<b>Vapor pago (R\$)</b>	<b>Consumo (KWh)</b>
1	113,28	174
2	105,46	162
3	92,35	155
4	104,91	160
5	106,36	157
6	103,11	158
7	100,72	151
8	98,80	145
9	94,46	138
10	115,01	161
11	95,30	142
12	103,52	148
13	103,4	150
14	79,72	117
15	88,10	124
16	88,43	118
17	113,65	140
18	112,35	131
19	105,52	131
20	119,71	153
21	118,81	154
22	107,04	144
23	110,66	146
24	122,94	164
<b>Média</b>	104,32	146,79

## APÊNDICE B – RETORNO DO INVESTIMENTO NO PROJETO

<b>Mês</b>	<b>Retorno do investimento (R\$)</b>	<b>Saldo de investimento (R\$)</b>	<b>Retorno do investimento acumulado (R\$)</b>
0	0	-6271,15	0
1	82,98	-6188,17	82,98
2	82,98	-6105,19	165,96
3	82,98	-6022,21	248,94
4	82,98	-5939,23	331,92
5	82,98	-5856,25	414,90
6	82,98	-5773,27	497,88
7	82,98	-5690,29	580,86
8	82,98	-5607,31	663,84
9	82,98	-5524,33	746,82
10	82,98	-5441,35	829,80
11	82,98	-5358,37	912,78
12	82,98	-5275,39	995,76
13	82,98	-5192,41	1078,74
14	82,98	-5109,43	1161,72
15	82,98	-5026,45	1244,70
16	82,98	-4943,47	1327,68
17	82,98	-4860,49	1410,66
18	82,98	-4777,51	1493,64
19	82,98	-4694,53	1576,62
20	82,98	-4611,55	1659,60
21	82,98	-4528,57	1742,58
22	82,98	-4445,59	1825,56
23	82,98	-4362,61	1908,54
24	82,98	-4279,63	1991,52
25	82,98	-4196,65	2074,50
26	82,98	-4113,67	2157,48
27	82,98	-4030,69	2240,46
28	82,98	-3947,71	2323,44
29	82,98	-3864,73	2406,42
30	82,98	-3781,75	2489,40
31	82,98	-3698,77	2572,38
32	82,98	-3615,79	2655,36
33	82,98	-3532,81	2738,34
34	82,98	-3449,83	2821,32
35	82,98	-3366,85	2904,30
36	82,98	-3283,87	2987,28

37	82,98	-3200,89	3070,26
38	82,98	-3117,91	3153,24
39	82,98	-3034,93	3236,22
40	82,98	-2951,95	3319,20
41	82,98	-2868,97	3402,18
42	82,98	-2785,99	3485,16
43	82,98	-2703,01	3568,14
44	82,98	-2620,03	3651,12
45	82,98	-2537,05	3734,10
46	82,98	-2454,07	3817,08
47	82,98	-2371,09	3900,06
48	82,98	-2288,11	3983,04
49	82,98	-2205,13	4066,02
50	82,98	-2122,15	4149,00
51	82,98	-2039,17	4231,98
52	82,98	-1956,19	4314,96
53	82,98	-1873,21	4397,94
54	82,98	-1790,23	4480,92
55	82,98	-1707,25	4563,90
56	82,98	-1624,27	4646,88
57	82,98	-1541,29	4729,86
58	82,98	-1458,31	4812,84
59	82,98	-1375,33	4895,82
60	82,98	-1292,35	4978,80
61	82,98	-1209,37	5061,78
62	82,98	-1126,39	5144,76
63	82,98	-1043,41	5227,74
64	82,98	-960,43	5310,72
65	82,98	-877,45	5393,7
66	82,98	-794,47	5476,68
67	82,98	-711,49	5559,66
68	82,98	-628,51	5642,64
69	82,98	-545,53	5725,62
70	82,98	-462,55	5808,60
71	82,98	-379,57	5891,58
72	82,98	-296,59	5974,56
73	82,98	-213,61	6057,54
74	82,98	-130,63	6140,52
75	82,98	-47,65	6223,50
76	82,98	35,33	6306,48

# APÊNDICE C – INVESTIMENTO EM POUPANÇA

Mês	Valor Acumulado (R\$)	Remuneração Mensal (R\$)	Retorno Mensal Acumulado (R\$)
0	6297,15	0	0
1	6320,54	23,39	23,39
2	6344,02	23,48	46,87
3	6367,59	23,57	70,44
4	6391,25	23,66	94,10
5	6414,99	23,74	117,84
6	6438,82	23,83	141,67
7	6462,74	23,92	165,59
8	6486,75	24,01	189,60
9	6510,85	24,10	213,70
10	6535,04	24,19	237,89
11	6559,32	24,28	262,17
12	6583,68	24,37	286,53
13	6608,14	24,46	310,99
14	6632,69	24,55	335,54
15	6657,33	24,64	360,18
16	6682,06	24,73	384,91
17	6706,89	24,82	409,74
18	6731,80	24,92	434,65
19	6756,81	25,01	459,66
20	6781,91	25,10	484,76
21	6807,11	25,19	509,96
22	6832,40	25,29	535,25
23	6857,78	25,38	560,63
24	6883,26	25,48	586,11
25	6908,83	25,57	611,68
26	6934,49	25,67	637,34
27	6960,26	25,76	663,11
28	6986,11	25,86	688,96
29	7012,07	25,95	714,92
30	7038,12	26,05	740,97
31	7064,26	26,15	767,11
32	7090,51	26,24	793,36
33	7116,85	26,34	819,70
34	7143,29	26,44	846,14
35	7169,82	26,54	872,67
36	7196,46	26,64	899,31
37	7223,20	26,73	926,05
38	7250,03	26,83	952,88
39	7276,96	26,93	979,81

40	7304,00	27,03	1006,85
41	7331,13	27,13	1033,98
42	7358,37	27,24	1061,22
43	7385,70	27,34	1088,55
44	7413,14	27,44	1115,99
45	7440,68	27,54	1143,53
46	7468,32	27,64	1171,17
47	7496,07	27,74	1198,92
48	7523,92	27,85	1226,77
49	7551,87	27,95	1254,72
50	7579,92	28,06	1282,77
51	7608,08	28,16	1310,93
52	7636,35	28,26	1339,20
53	7664,71	28,37	1367,56
54	7693,19	28,47	1396,04
55	7721,77	28,58	1424,62
56	7750,46	28,69	1453,31
57	7779,25	28,79	1482,10
58	7808,15	28,90	1511,00
59	7837,16	29,01	1540,01
60	7866,27	29,12	1569,12
61	7895,49	29,22	1598,34
62	7924,83	29,33	1627,68
63	7954,27	29,44	1657,12
64	7983,82	29,55	1686,67
65	8013,48	29,66	1716,33
66	8043,25	29,77	1746,10
67	8073,13	29,88	1775,98
68	8103,12	29,99	1805,97
69	8133,22	30,10	1836,07
70	8163,44	30,21	1866,29
71	8193,76	30,33	1896,61
72	8224,20	30,44	1927,05
73	8254,76	30,55	1957,61
74	8285,42	30,67	1988,27
75	8316,20	30,78	2019,05
76	8347,10	30,89	2049,95

## ANEXO A

## 14. Anexo II - Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10kW (anexo II - PRODIST módulo 3 seção 3.7)

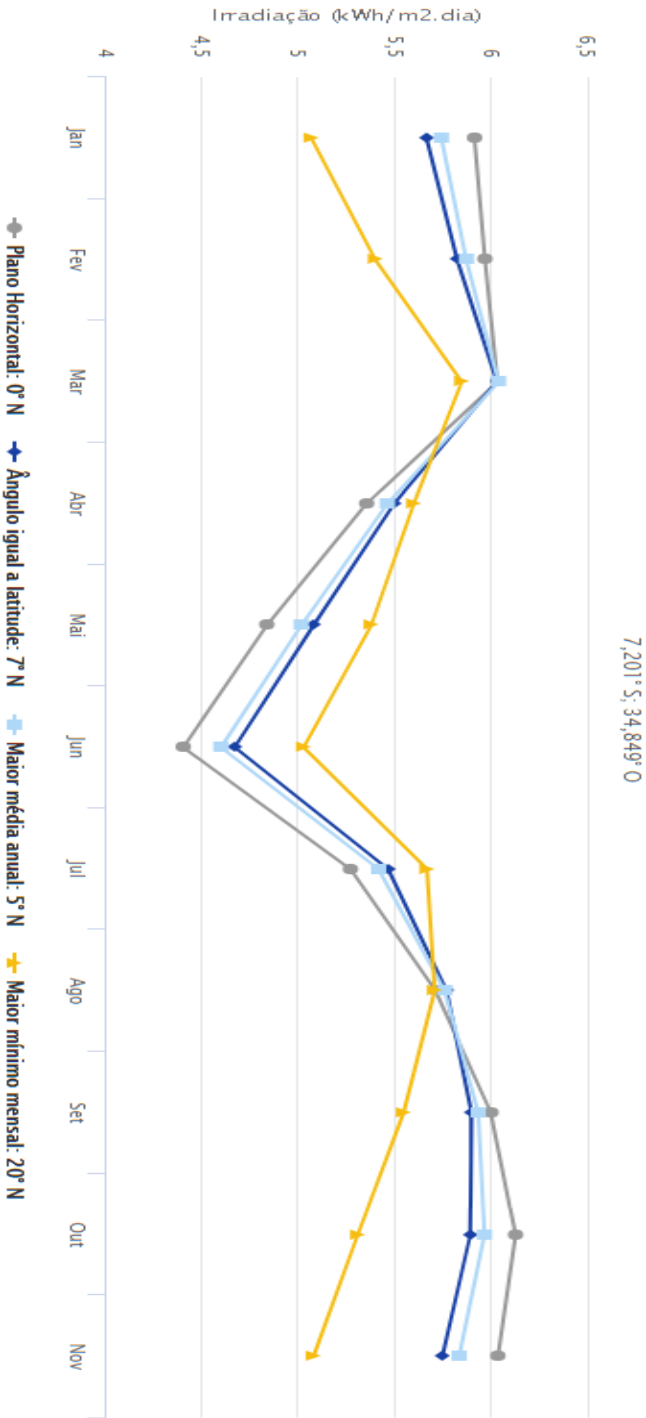
1 - IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:	UF:	
Telefone:	Celular:	
CNPJ/CPF:		
2 - DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA		
Potência Instalada (kW):	Tensão de Atendimento (V):	
Tipo de Conexão:	Monofásica <input type="checkbox"/>	Bifásica <input type="checkbox"/> Trifásica <input type="checkbox"/>
3 - DADOS DA GERAÇÃO		
Potência Instalada de Geração (kWp):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (Especificar):		
4 - DOCUMENTAÇÕES A SEREM ANEXADAS		
1. ART do Responsável Técnico pelo Projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração;		<input type="checkbox"/>
2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção (inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação;		<input type="checkbox"/>
3. Certificado de Conformidade do(s) Inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) Inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede;		<input type="checkbox"/>
4. Dados Necessários ao Registro da Central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a>		<input type="checkbox"/>
5. Lista de Unidades Consumidoras participantes do sistema compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012;		<input type="checkbox"/>
6. Cópia de Instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);		<input type="checkbox"/>
7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		<input type="checkbox"/>
5 - CONTATOS NA DISTRIBUIDORA (PREENCHIDO PELA DISTRIBUIDORA)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - SOLICITANTE		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
	/	/
Local	Data	Assinatura do Responsável

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: João Pessoa  
Município: João Pessoa , PB - BRASIL  
Latitude: 7,201° S  
Longitude: 34,849° O  
Distância do ponto de ref.: (7,173038° S; 34,844897° O): 3,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
	Plano Horizontal	0° N	5,91	5,97	6,03	5,35	4,83	4,40	4,48	5,27	5,71	6,00	6,13	6,03	5,51	1,73
	Ângulo igual a latitude	7° N	5,66	5,82	6,03	5,49	5,08	4,67	4,73	5,46	5,77	5,90	5,89	5,75	5,52	1,36
	Maior média anual	5° N	5,74	5,87	6,04	5,46	5,01	4,60	4,67	5,41	5,76	5,93	5,96	5,83	5,52	1,44
	Maior mínimo mensal	20° N	5,06	5,40	5,85	5,60	5,38	5,02	5,05	5,67	5,71	5,54	5,31	5,07	5,39	,82

Irradiação Solar no Plano Inclinado –João Pessoa–João Pessoa, PB-BRASIL



ANEXO B - ÍNDICE SOLARIMÉTRICO PRÓXIMO AO LOCAL

## ANEXO C



## SUPERPOWER CS6K-290 | 295 | 300 | 305MS

Canadian Solar's new SuperPower modules with Mono-PERC cells significantly improve efficiency and reliability. The innovative technology offers superior low irradiance performance in the morning, in the evening and on cloudy days, increasing the energy output of the module and the overall yield of the solar system.

### KEY FEATURES



11 % more power than conventional modules



Excellent performance at low irradiance of up to: 97.5 %



High PTC rating of up to: 91.90 %



Improved energy production due to low temperature coefficients



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa \*



CanadianSolar



\*Black frame product can be provided upon request.

25  
years

linear power output warranty

10  
years

product warranty on materials and workmanship

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: TÜV-Rheinland / VDE / CE / MCS / CEC AU / JET  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1  
IEC 60068-2-68: SGS

Take-away



\* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 21 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

\*For detail information, please refer to Installation Manual.

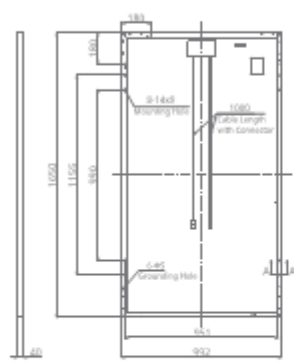
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

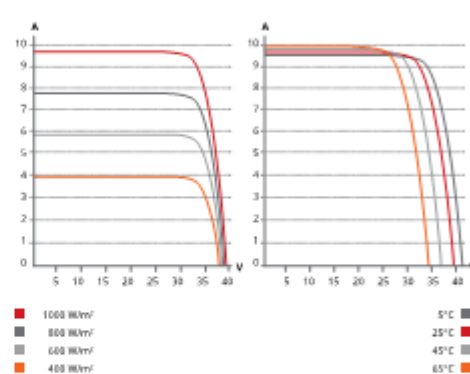


**ENGINEERING DRAWING (mm)**

Rear View



Frame Cross Section A-A

**CS6K-295MS / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC\***

CS6K	290MS	295MS	300MS	305MS
Nominal Max. Power (P <sub>max</sub> )	290 W	295 W	300 W	305 W
Opt. Operating Voltage (V <sub>mp</sub> )	32.1 V	32.3 V	32.5 V	32.7 V
Opt. Operating Current (I <sub>mp</sub> )	9.05 A	9.14 A	9.24 A	9.33 A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	39.3 V	39.5 V	39.7 V	39.9 V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	9.67 A	9.75 A	9.83 A	9.91 A
Module Efficiency	17.72%	18.02%	18.33%	18.63%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ +5 W			

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces, 538 kg (1186.1 lbs)
Per Container (40' HQ)	756 pieces

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS6K	290MS	295MS	300MS	305MS
Nominal Max. Power (P <sub>max</sub> )	215 W	218 W	222 W	226 W
Opt. Operating Voltage (V <sub>mp</sub> )	29.7 V	29.8 V	30.0 V	30.2 V
Opt. Operating Current (I <sub>mp</sub> )	7.24 A	7.32 A	7.40 A	7.48 A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.8 V	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	7.81 A	7.87 A	7.93 A	8.00 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (P <sub>max</sub> )	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (V <sub>oc</sub> )	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (I <sub>sc</sub> )	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	42 ± 2 °C

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**

Excellent performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 97.5 % for irradiances between 200 W/m<sup>2</sup> and 1000 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

**PARTNER SECTION**